Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 14, No. 2, 2024, p. 135-146

# Performance Evaluation of the UAV Sprayer in Controlling *Brevicoryne Brassicae* L. Pest in Canola

**N. Bagheri[1*], M. Safari[2], A. Sheikhi Garjan[3]**

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Associate Professor, Iranian Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: n.bagheri@areeo.ac.ir)

Received: 26 October 2022
Revised: 11 December 2022
Accepted: 24 December 2022
Available Online: 24 December 2022

**How to cite this article:**
Bagheri, N., Safari, M., & Sheikhi Garjan, A. (2024). Performance Evaluation of the UAV Sprayer in Controlling *Brevicoryne Brassicae* L. Pest in Canola. *Journal of Agricultural Machinery, 14*(2), 135-146. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2022.79329.1129

## Introduction

About 30% of the annual losses of agricultural products are caused by pests, diseases, and weeds. Spraying is currently the most common method of their control. At present, various manual and tractor-mounted sprayers are used for spraying. Manual spraying has very low work efficiency and is damaging as the spray might be applied irregularly and consumed by the labor or the product at poisonous levels. Tractor-mounted sprayers are more efficient than manual sprayers and require less labor. However, their use is associated with issues such as compacting the soil or crushing the product. In recent years, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) sprayers have been used to spray farms and orchards. UAV spraying can increase the spraying efficiency by more than 60% and reduce the volume of spray used by 20-30%. Based on the capabilities of the UAV sprayer and the limitations of other current spraying methods, the purpose of this research is to evaluate the performance of the UAV sprayer in controlling *Brevicoryne brassicae* (L.) and compare the results with a turbo liner sprayer.

## Materials and Methods

In the present research, the UAV sprayer is studied as a new method of spraying to fight *Brevicoryne brassicae* (L.). The results were technically and economically evaluated and compared with the control group and that of the turbo liner sprayer (the conventional method of spraying canola in Iran). The experiment was triplicated with a completely randomized design and three treatments of UAV sprayer, turbo liner sprayer, and control (no spraying). Field tests were conducted on the canola crop at the stemming stage where at least 20% of the plants were infected. The measured parameters included drift, spraying quality, field capacity, field efficiency, energy consumption, and spraying efficiency.

## Results and Discussion

Based on the results, the spray volume consumed by UAV and turbo liner sprayers was equal to 11.1 and 187.6 liters per hectare, respectively. The particle drift in spraying with UAV sprayer and turbo liner sprayer were 53.3% and 80%, respectively. Moreover, the quality coefficient of UAV and turbo liner sprayers were 1.15 and 1.21, respectively. Therefore, the farm efficiency of the UAV sprayer and turbo liner sprayer was equal to 51.4% and 32.3%, respectively. Based on the results of the analysis of variance, immediately after spraying, there was no statistically significant difference between the average density of pests of the three treatments. However, three, seven, and 14 days after spraying, there was a significant difference between the control



https://doi.org/10.22067/jam.2022.79329.1129

treatment and the spraying treatments. The density of pests in the plots sprayed with UAV and turbo liner sprayers was lowered to less than 100 pests per stem, whereas in the control treatment, the density varied between 250-700 pests per stem. A comparison of the average efficiency of the UAV sprayer and turbo liner sprayer with the t-test showed that both sprayers had managed to control the population of pests and 14 days after the spraying, the efficiency of the UAV sprayer was higher than that of the turbo liner sprayer.

## Conclusion

- The spray volume consumed by the turbo liner sprayer was 17 times the UAV sprayer.
- The spray drift was about 34% more in spraying with the turbo liner sprayer than the UAV sprayer.
- The field efficiency of the UAV sprayer was 59.1% more than the turbo liner sprayer.
- The energy consumption per hectare of the turbo liner sprayer was 7 times the energy consumption of the UAV sprayer.
- UAV sprayer's efficiency reached 92.7 % 14 days after spraying.
- UAV sprayer is recommended for controlling *Brevicoryne brassicae* (L.) due to its high efficiency, low drift, low spray volume and energy consumption, and superior spraying quality.
- To improve the performance of the UAV sprayer for controlling *Brevicoryne brassicae* (L.), a flight height of 1-1.5 meters from the top of the crop, a flight speed of less than 7 m $s^{-1}$, and a maximum spraying speed of 4 m $s^{-1}$ are recommended. Additionally, it is possible to prevent the spread of the pest in the stemming stage by spraying the field in an earlier stage.

**Keywords:** Canola, Efficiency evaluation, Intelligent agriculture, Unmanned aerial sprayer

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ١٤، شماره ٢، تابستان ١٤٠٣، ص ١٤٦-١٣٥

# ارزیابی عملکرد پهپادسمپاش در کنترل شته کلزا

نیکروز باقری[۱*]، محمود صفری[۲]، عزیز شیخی‌گرجان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

## چکیده

در پژوهش حاضر پهپادسمپاش به‌عنوان یک روش نوین سمپاشی برای کنترل جمعیت آفت شتهٔ کلزا ارزیابی و نتایج آن با سمپاش توربولاینر مقایسه شد. آزمون در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. آزمون‌ها در زمان آلودگی حداقل ۲۰درصد از بوته‌ها اجرا شد. پارامترهای اندازه‌گیری‌شده شامل مقدار ضریب کیفیت پاشش، ظرفیت مزرعه‌ای تئوری و مؤثر، بازدهٔ مزرعه‌ای، انرژی مصرفی و کارایی (اثربخشی) سمپاشی بودند. براساس نتایج برای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر، به‌ترتیب میانگین مقدار محلول سم مصرفی برابر با ۱۱/۱ و ۱۸۷/۶ لیتر در هکتار، ضریب کیفیت پاشش ۱/۱۵ و ۱/۲۱، بازدهٔ مزرعه‌ای ۵۱/۴ و ۳۲/۳درصد و انرژی مصرفی ۳/۴ و ۱۰۰/۵ کیلووات-ساعت به‌دست آمد. براساس نتایج تجزیهٔ واریانس در سه، هفت و ۱۴ روز پس از سمپاشی، بین تیمار شاهد و تیمارهای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر از نظر تعداد شته اختلاف معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که تعداد شته در کرت‌های سمپاشی‌شده با هر دو نوع سمپاش در سه بار نمونه‌برداری پس از سمپاشی کمتر از ۱۰۰شته در ساقه بود. اما در تیمار شاهد تعداد شته در ساقه ۷۰۰-۲۵۰ بود. مقایسهٔ میانگین کارایی پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر با آزمون t نشان داد که هر دو سمپاش نتایج قابل‌قبولی در کنترل جمعیت شتهٔ کلزا داشتند. در سه و هفت روز پس از سمپاشی، سمپاش توربولاینر کارایی بیشتری نسبت به پهپادسمپاش داشت. اما در ۱۴ روز بعد از سمپاشی، کارایی پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب ۹۲/۷ و ۸۵/۲درصد بود. استفاده از پهپادسمپاش با توجه به کاهش مقدار محلول مصرفی و انرژی مصرفی و افزایش بازدهٔ مزرعه‌ای، کیفیت پاشش و کارایی سمپاشی برای کنترل جمعیت شتهٔ کلزا توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی عملکرد، پهپادسمپاش، سمپاش توربولاینر، کشاورزی‌هوشمند، کلزا

## مقدمه

آفت‌ها، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز از مشکلات عمدهٔ تولید محصولات کشاورزی هستند. طبق آمار سازمان خواروبار جهانی، حدود ۳۰درصد از تلفات سالانهٔ محصول‌های کشاورزی در جهان، توسط این عوارض ایجاد می‌شود (Lan, Chen, & Fritz, 2017; Guo et al., 2019). سمپاشی همچنان مرسوم‌ترین روش کنترل آفت‌ها، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز است (Lan & Chen, 2018). حدود ۴۰درصد از عملکرد محصولات کشاورزی تحت تأثیر سمپاشی نامناسب قرار می‌گیرد (Peshin, Bandral, Zhang, Wilson, & Dhawan, 2009). افزایش مداوم هزینهٔ سموم شیمیایی و وابستگی بی‌سابقه به این سموم برای افزایش تولید، منجر به تهدید اقتصادی تولید می‌شود (Cheema, Mahmood, Latif, & Nasir, 2018).

در حال‌حاضر، از انواع سمپاش‌های دستی و پشت‌تراکتوری برای سمپاشی استفاده می‌شود. کاربرد سمپاشی دستی با مصرف زیاد سم، آسیب به کارور در اثر تماس با سم (Wang et al., 2019)، آسیب فیزیکی به محصول به‌علت ورود به مزرعه (Bagheri & Safari, 2020) و بازدهٔ کاری بسیار کم همراه است (Gong, Fan, & Peng, 2019). سمپاش‌های پشت‌تراکتوری کارایی بیشتری نسبت به سمپاش‌های دستی داشته و نیروی کارگری کمتری نیاز دارند، اما کاربرد آن‌ها مشکلاتی مانند فشرده‌کردن خاک و له‌کردن محصول را به‌دنبال دارد (Gong et al., 2019). این سمپاش‌ها برای زمین‌های کوچک و برای محصول‌های زراعی با ارتفاع زیاد، کاربرد ندارند (Bagheri & Safari, 2020).

۱- دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: n.bagheri@areeo.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jam.2022.79329.1129

روش دیگر سمپاشی، استفاده از هواپیمای سرنشین‌دار است. این روش سمپاشی برای سمپاشی زمین‌های بزرگ با شکل منظم، کاربرد دارد. همچنین، برای سمپاشی با این روش به خلبان بامهارت و فرودگاه نیاز است (Huang *et al.*, 2018; Gong *et al.*, 2019). هزینهٔ زیاد سمپاشی و کنترل ضعیف پارامترهای پروازی باعث شده تا این فناوری کاربرد چندانی پیدا نکند (Xinyu, Kang, Weicai, Lan, & Zhang, 2014).

در سال‌های اخیر از پهپادسمپاش[1] برای سمپاشی مزرعه‌ها و باغ‌ها استفاده شده‌است (Kharim, Wayayok, Sharif, Abdullah, & Husin, 2019). پهپادسمپاش می‌تواند با کاهش ۲۰ تا ۳۰درصدی مقدار سم، بازدهٔ سمپاشی را بیش از ۶۰درصد افزایش دهد (Qin, Xue, Zhang, Gu, & Wang, 2018). از قابلیت‌های پهپادسمپاش می‌توان به مصرف کم آب، هزینهٔ کم سمپاشی، افزایش بازدهٔ مزرعه‌ای، آسیب‌نرسیدن به کارور[2] به‌دلیل تماس نداشتن با سم، قابلیت کار در مناطق دشوارگذر (Kharim *et al.*, 2019)، نیاز نداشتن به فرودگاه، قابلیت کنترل از راه دور (Shilin *et al.*, 2017)، مانورپذیری بیشتر (به‌دلیل شعاع چرخش کوچک‌تر) (Teske, Chen, Nansen, & Kong, 2019)، نیاز به نیروی کارگری کمتر (Wang *et al.*, 2019)، قابلیت برنامه‌ریزی خودکار سمپاشی، مناسب‌بودن برای زمین‌های خرد (Huang, Hoffmann, Lan, Wu, & Fritz, 2009)، کاهش تلفات سم (به‌دلیل تنظیم دقیق مقدار سم لازم و کالیبراسیون دقیق سمپاش) (Shengde *et al.*, 2017)، نفوذ بهتر سم به داخل پوشش‌گیاهی به‌دلیل جریان هوای رو به پایین تولیدشده به‌وسیلهٔ روتورهای پهپادسمپاش (Meng, Su, Song, Chen, & Lan, 2020) اشاره کرد.

در پژوهش‌های متعددی پهپادسمپاش برای مبارزه با آفت‌ها، بیماری‌ها و علف‌های هرز توصیه شده است. شینیو و همکاران (Xinyu *et al.*, 2014) مقدار نشست و بادبردگی روش‌های مختلف سمپاشی را در شالیزار ارزیابی کردند. نتایج نشان داد مقدار نفوذ سم به‌دلیل جریان باد ایجادشده به‌وسیلهٔ روتورها، بیشتر از روش‌های مرسوم سمپاشی است. شین و همکاران (Qin *et al.*, 2016) نشان دادند که در سمپاشی برنج با پهپاد، ارتفاع و سرعت پرواز روی نفوذ و یکنواختی پاشش سم مؤثر است. طبق گزارش آن‌ها، پارامترهای زیادی از جمله جریان هوای رو به پایین، طراحی پهپادسمپاش، مقدار توان و سرعت و جهت باد بر الگوی پاشش و عرض مؤثر پاشش تأثیرگذار است. یونگ‌جون و همکاران (Yongjun *et al.*, 2017) از پهپادسمپاش برای سمپاشی مزرعه ذرت استفاده کردند. آن‌ها ارتفاع پرواز یک متر و سرعت چهار متر در ثانیه را برای توزیع مناسب سم در مزرعهٔ ذرت در مرحلهٔ تاولی[3] و ارتفاع پرواز دو متر و سرعت پرواز دو متر در ثانیه را برای سمپاشی ذرت در مرحله خمیری[4] توصیه کردند. یانلیانگ و همکاران (Yanliang, Qi, & Wei, 2017) پهپادسمپاش را در چهار ارتفاع پروازی، در سرعت‌های باد متفاوت با حجم‌های متفاوت پاشش ارزیابی کردند. براساس نتایج، برای جلوگیری از تلفات سم در سرعت باد بیش از پنج متر در ثانیه، ارتفاع پرواز کمتر از دو متر توصیه شده‌است. همچنین برای سمپاشی یکنواخت در سرعت باد کمتر از دو متر در ثانیه، برای ارتفاع پرواز ۱/۵ و دو متر، حجم پاشش ۵۰درصد و برای ارتفاع پرواز ۲/۵متر، حجم پاشش ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰درصد توصیه شده‌است. سمپاشی با پهپادسمپاش در ارتفاع سه متری توصیه نشده است. شیلین و همکاران (Shilin *et al.*, 2017) چهار مدل پهپادسمپاش رایج در کشور چین را از نظر مقدار پوشش سم، نفوذپذیری، تراکم ذرات و بازدهٔ کاری مقایسه کردند. در شرایط پروازی یکسان و با به‌کارگیری حجم محلول سم مصرفی یکسان، قطر میانهٔ حجمی همبستگی منفی با تراکم قطره‌ها داشت. از زمان درنظر گرفته‌شده برای سمپاشی با پهپاد، ۵۰درصد صرف سمپاشی، ۱۰درصد صرف آماده‌سازی پهپاد، ۱۰درصد صرف برنامه‌ریزی مسیر و زمان خالص سمپاشی تنها حدود ۳۰درصد را به خود اختصاص داد. شیخی‌گرجان (Sheikhi Gorjan, 2018) عملکرد پهپادسمپاش را برای مبارزه با پورهٔ سن گندم ارزیابی و نتایج آن را با سمپاش میکرونر پشتی مقایسه کرد. مقایسهٔ میانگین کارایی پهپادسمپاش با سمپاش میکرونر پشتی نشان داد که هر دو تیمار از نظر کنترل سن گندم اختلاف معنی‌داری با همدیگر نداشتند. برای پهپادسمپاش و سمپاش میکرونر پشتی، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به‌ترتیب ۵/۵ و ۰/۸هکتار در ساعت، و مقدار محلول مصرفی به‌ترتیب ۱۴/۶ و ۳۰/۰لیتر در هکتار به‌دست آمد. ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2019) نشست[5] سم، کارایی سمپاشی[6] و بازدهٔ کاری[7] یک پهپادسمپاش شش روتور را با یک سمپاش بوم‌دار و دو سمپاش کوله‌پشتی معمولی برای سمپاشی گندم مقایسه کردند. نتایج پژوهش نشان داد بازدهٔ مزرعه‌ای با پهپادسمپاش ۲۰–۱/۷برابر (۱/۷، ۲/۶ و ۲۰ برابر) بیشتر از سمپاش‌های بوم‌دار و دو سمپاش پشتی بود. کارایی سمپاشی با پهپادسمپاش روی شته‌های گندم هفت روز بعد از سمپاشی ۷۰/۹درصد بود که با سایر سمپاش‌ها قابل مقایسه بود. تسکه و همکاران (Teske *et al.*, 2019)، یک مدل ریاضی داده محور[8] را برای پیش‌بینی توزیع بهینهٔ سم با پهپادسمپاش برای مبارزه

1- Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
2- Operator

3- Blister Stage Corn
4- Dough Stage Corn
5- Deposition
6- Efficacy
7- Working Efficiency
8- Data Driven

با کنه توسعه دادند. مدل توزیع تابعی از سرعت باد، جهت باد، ارتفاع پهپادسمپاش و سرعت پرواز بود. میانگین خطای مدل ۱۲/۸درصد به‌دست آمد. مارتین و همکاران (Martin, Woldt, & Latheef, 2019) تأثیر ارتفاع و سرعت پرواز را بر الگوی پاشش و اندازه قطره‌های محلول سم توزیع‌شده با پهپادسمپاش روی پنبه بررسی کردند. ضریب تغییرات در عرض کار مؤثر دستگاه، ۲۵درصد به‌دست آمد. خریم و همکاران (Kharim *et al.*, 2019) به ارزیابی اثر سرعت پرواز و دبی پاشش بر نشست قطره‌های سم روی محصول برنج پرداختند. نتایج نشان داد که یکنواختی قطره‌های سم و نشست آن‌ها در سرعت پرواز کمتر از دو متر در ثانیه در مقایسه با سرعت‌های پرواز چهار و شش متر در ثانیه بیشتر بود. همچنین، یکنواختی پاشش و نشست قطره‌ها در دبی پاشش سه لیتر در دقیقه، بیش از بقیه تیمارها بود. زو و همکاران (Zhou, Xue, Qin, Chen, & Cai, 2020) عملکرد پهپادسمپاش را در سرعت‌های پرواز سه، چهار و پنج متر در ثانیه و برای دو نوع افشانک برای سمپاشی مزرعهٔ برنج ارزیابی کردند. بهترین عملکرد پهپادسمپاش با سرعت پرواز چهار متر در ثانیه و بیشترین بازده برای مراحل مختلف رشد، ۵۲درصد به‌دست آمد. نتایج نشان داد بازدهٔ سمپاشی با پهپادسمپاش در همهٔ مراحل رشد بیشتر از بازدهٔ سمپاشی با سمپاش‌های رایج است. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2020) یکنواختی توزیع سم را در سمپاشی با پهپادسمپاش بر کنترل آفت برنج ارزیابی کردند. نتایج مقایسهٔ دو نوع افشانک و روش پاشش با پهپادسمپاش و سمپاشی مرسوم نشان داد که با استفاده از پهپادسمپاش و به‌کارگیری افشانک مناسب می‌توان کنترل بهتری روی آفت به‌دست آورد. ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2020) بادبردگی سم یک پهپادسمپاش را در شرایط تونل باد ارزیابی کردند. تیمارهای آزمایش شامل نوع افشانک، سرعت پرواز، و پارامترهای هواشناسی بود. نوع و اندازهٔ افشانک بر بادبردگی مؤثر بود و افشانک‌های هوا-کمک بادبردگی کمتری داشتند. در پرواز با سرعت زیاد، جهت جریان هوای رو به پایین تولیدشده به‌وسیلهٔ روتورها باعث کاهش فشار بر قطره‌ها و تشدید خطر بادبردگی می‌شد. صفری و شیخی‌گرجان (Safari & Sheikhi Gorjan, 2020) برای کنترل آفت زنجرک خرما دو روش سمپاشی با پهپادسمپاش و سمپاش لانس‌دار را مقایسه کردند. مقدار محلول مصرفی پهپادسمپاش و سمپاش لانس‌دار به‌ترتیب برابر با ۲۸/۹ و ۱۱۰۰ لیتر در هکتار، اتلاف محلول حشره‌کش در سمپاشی با پهپادسمپاش و سمپاش لانس‌دار به‌ترتیب ۱۱/۰۲ و ۴۲/۶درصد و ظرفیت مزرعه‌ای پهپادسمپاش و سمپاش لانس‌دار به‌ترتیب برابر با ۲/۷ و ۰/۸هکتار در ساعت به‌دست آمد. نوروزیه (Nowrouzieh, 2020) از پهپادسمپاش برای کنترل کرم غوزهٔ پنبه استفاده و نتایج سمپاشی با پهپادسمپاش را با دو نوع سمپاش بومدار پشت تراکتوری و لانس‌دار پشت تراکتوری مقایسه کرد. براساس نتایج، بهترین شاخص کیفیت پاشش به‌ترتیب متعلق به سمپاش بومدار و پهپادسمپاش با مقادیر ۲/۴ و ۲/۹ و بیشترین بازدهٔ مزرعه‌ای متعلق به پهپادسمپاش بود. ظریف‌نشاط (Zarif Neshat, 2021) عملکرد پهپادسمپاش را با روش‌های معمول سمپاشی برای مبارزه با علف‌های هرز مزارع گندم مقایسه کرد. نتایج نشان داد محلول سم مصرفی در پهپادسمپاش، سمپاش بومدار پشت‌تراکتوری و سمپاش توربینی زراعی به‌ترتیب ۱۱/۱، ۳۵۱/۶، ۲۴۹/۱لیتر در هکتار، مقدار بادبردگی ۱۶/۸، ۷/۷ و ۳۸/۶ درصد، و ظرفیت مزرعه‌ای ۶/۷، ۵/۹ و ۷/۰ در ساعت به‌دست آمد. همچنین، در ۳۰ روز پس از سمپاشی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر کارایی عملیات مشاهده نشد.

با توجه به قابلیت‌های پهپادسمپاش براساس مرور منابع و مشکلات روش‌های فعلی سمپاشی، هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد پهپادسمپاش به‌عنوان یک روش نوین سمپاشی برای مبارزه با آفت شتهٔ کلزا[1] و مقایسهٔ نتایج آن با روش مرسوم سمپاشی با سمپاش توربولاینر است.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش عملکرد پهپادسمپاش برای مبارزه با آفت شتهٔ کلزا ارزیابی و نتایج آن با سمپاش توربولاینر به‌عنوان روش مرسوم سمپاشی در منطقه مقایسه شد. همچنین، کارایی سمپاشی هر دو روش با تیمار شاهد مقایسه شد. سمپاشی در فروردین ماه سال ۱۴۰۱ در مرحلهٔ ساقه‌رفتن کلزا و در زمان آلودگی حداقل ۲۰ درصد از بوته‌ها در مزرعهٔ مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در محمدشهر کرج اجرا شد. آزمون در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تیمار شامل سمپاشی با پهپادسمپاش، سمپاش توربولاینر و شاهد در سه تکرار اجرا شد. اندازهٔ کرت‌های آزمایشی۱۰ ×۱۰۰ متر بود. برای تعیین زمان مناسب سمپاشی از مرحلهٔ رویش گیاه تا پایان مرحلهٔ رزت، هر هفته یکبار و از شروع مرحلهٔ ساقه‌رفتن هر هفته دوبار از مزرعه بازدید شد. در شکل ۱ بوتهٔ کلزای آلوده به شته نشان داده شده است.

پهپادسمپاش آزمون‌شده از نوع مولتی-روتور[2] با چهار روتور مدل تاپ‌ایکس‌گان[3] دارای چهار افشانک بادبزنی تی-جت[4] شمارهٔ XR110015 VS و حجم مخزن ۱۰ لیتر بود. سمپاش توربولاینر ساخت شرکت بادله دارای نه افشانک مخروطی سری RA بود. همچنین، تراکتور استفاده شده از نوع Massey Ferguson 399 با قدرت ۱۱۰ اسب‌بخار بود. مشخصات فنّی سمپاش‌ها در جدول ۱ ارائه

1- Canola
2- Rotary Type
3- TopXGun
4- TeeJet

شده است. آفت‌کش ایمیداکلوپراید SC350 به مقدار یک لیتر در هکتار با نسبت ۱ به ۱۰با آب مخلوط و در مخزن سمپاش‌ها ریخته شد. برای افزایش خاصیت خیس‌کنندگی آفت‌کش، از افزودنی مکمل کاورینو (مویان) با غلظت ۰/۵میلی‌لیتر در لیتر استفاده شد. براساس پژوهش‌های پیشین، این ماده باعث بهبود نشست سم روی گیاه می‌شود (Xinyu *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2019). در زمان سمپاشی، متوسط دمای هوا ۲۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوا ۱۰درصد (با استفاده از دستگاه دیجیتالی سنجش دما–رطوبت) و همچنین، متوسط سرعت باد حین سمپاشی ۲تا ۶متر در ثانیه (با استفاده از بادسنج پره‌ای دیجیتالی برند UNI-T مدل UT363BT) ثبت شد. در شکل ۲ سمپاش‌ها هنگام سمپاشی مزرعه نشان داده‌شده‌است.



**شکل ۱**– بوتهٔ کلزای آلوده به شته

**Fig.1.** *Brevicoryne brassicae* (L.) infected canola plant




**شکل ۲**– سمپاش‌ها هنگام سمپاشی مزرعهٔ کلزا (a: سمپاش توربولاینر، b: پهپادسمپاش)

**Fig.2.** Sprayers while spraying the canola field (a: Turbo liner sprayer, b: UAV spray)

برای ارزیابی و مقایسهٔ سمپاش‌ها، پارامترهایی شامل دبی افشانک‌ها و مقدار محلول مصرفی، ضریب کیفیت پاشش، ظرفیت مزرعه‌ای نظری، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، بازدهٔ مزرعه‌ای، انرژی مصرفی و کارایی سمپاشی به‌صورت زیر اندازه‌گیری شدند:

### اندازه‌گیری دبی افشانک‌ها و مقدار محلول سم مصرفی

برای اندازه‌گیری دبی افشانک‌ها، ابتدا مخزن از آب پر شد. سپس زیر هریک از افشانک‌ها یک استوانه مدرّج قرار داده شد. با خروج محلول از مخزن، دبی افشانک‌ها در مدت زمان یک دقیقه اندازه‌گیری شد (Safari & Bagheri, 2021). پس از اندازه‌گیری دبی تک‌تک افشانک‌ها و جمع‌کردن دبی تمام افشانک‌ها با هم، مقدار محلول مصرفی در هر هکتار از رابطه (۱) به‌دست آمد (Chen *et al.*, 2020):

$$Q = \frac{600q}{V.W} \quad (۱)$$

V: سرعت پیشروی ($km\ hr^{-1}$)، q: دبی همهٔ افشانک‌ها ($L\ min^{-1}$)، W: عرض کار مؤثر (m)، Q: مقدار محلول مصرفی در هکتار ($L\ ha^{-1}$).



**شکل ۳**- روش نصب کارت حساس به آب روی بوته
**Fig.3.** Installation of the water-sensitive card on the canola plant

### اندازه‌گیری ضریب کیفیت پاشش (یکنواختی پاشش)

ضریب کیفیت پاشش، معیار یکنواختی پاشش است که از تقسیم قطر میانهٔ حجمی[1] بر قطر میانهٔ عددی[2] به‌دست می‌آید (Zhua, Salyanib, & Fox, 2011). برای اندازه‌گیری قطر میانهٔ حجمی و عددی، ابتدا کارت‌های حساس به آب در مسیر پاشش قرار داده شدند (شکل ۳).

پس از سمپاشی، کارت‌ها جمع‌آوری و با قدرت تفکیک[3] ۳۰۰dpi اسکن شدند. تعداد و قطر قطره‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J اندازه‌گیری شدند. در این نرم‌افزار ابتدا تصویر کارت‌های حساس به‌صورت باینری درآورده شد و مقیاس‌دهی شدند. سپس با تعیین حد آستانهٔ مناسب برای هر تصویر، قطره‌ها از تصویر زمینه جدا شد، تعداد آن‌ها شمارش و قطر آن‌ها اندازه‌گیری شد. قطرهای میانهٔ عددی و حجمی با استفاده از رابطه (۲) به‌دست آمدند (Behrouzi Lar, 1999):

$$D_{pq}^{p-q} = \left(\sum_{i=1}^{n} NiD_i^p \,\middle|\, \sum_{i=1}^{n} Ni\, D_i^q\right)^{\frac{1}{(p-q)}} \qquad (۲)$$

p و q: اعداد صحیح، p>q. (برای محاسبهٔ قطر میانه عددی p=۱، q=۰؛ برای محاسبه قطر میانهٔ حجمی p=۳ و q=۰)، $D_i$: قطر قطره برای گروه اندازه i (µm)، Ni: تعداد قطره در گروه اندازه i، i: تعداد اندازه گروه، n: تعداد گروه اندازه‌ها.

### اندازه‌گیری بازدهٔ مزرعه‌ای

بازدهٔ مزرعه‌ای از رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

$$E = \left(\frac{C_o}{C_t}\right) * 100 \qquad (۳)$$

E: بازدهٔ مزرعه‌ای (٪)، $C_o$: ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ($ha\ hr^{-1}$)، و $C_t$: ظرفیت مزرعه‌ای تئوری ($ha\ hr^{-1}$).

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ($C_o$) بر اساس زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار زمین و در مزرعه اندازه‌گیری شد. ظرفیت مزرعه‌ای تئوری نیز از رابطه (۴) به‌دست آمد:

$$C_t = \frac{V.W}{10} \qquad (۴)$$

$C_{ot}$: ظرفیت مزرعه‌ای تئوری ($ha\ hr^{-1}$)، V: سرعت پیشروی ($km\ hr^{-1}$) و W: عرض کار (m).

### اندازه‌گیری انرژی مصرفی

انرژی پهپادسمپاش از نوع انرژی الکتریکی و انرژی سمپاش توربولاینر از نوع انرژی فسیلی است. انرژی مصرفی پهپاد از محاسبهٔ توان مصرفی (برحسب کیلووات) در ساعت به‌دست می‌آید. توان مصرفی پهپادسمپاش مجموع توان مصرفی باتری‌های پرنده و باتری‌های رادیوکنترل است که معمولاً در دفترچه راهنمای وسیله مشخص شده‌است. برای اندازه‌گیری انرژی مصرفی سمپاش توربولاینر ابتدا مقدار مصرف سوخت تراکتور در هکتار به‌دست آمد. این عدد در ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر سمپاش ضرب شد. سپس عدد به‌دست آمده در انرژی معادل تولیدشده از سوخت هر لیتر گازوئیل (برابر با ۲کیلووات-ساعت) ضرب شد. مصرف سوخت تراکتور در شرایط آزمون ۷/۵لیتر در هکتار به‌دست آمد.

### اندازه‌گیری کارایی سمپاشی

برای تعیین مقدار کارایی سمپاشی با پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر در مبارزه با شته، نمونه‌برداری از جمعیت شته، چهار بار در زمان‌های یک روز پیش از سمپاشی، ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سمپاشی

1- Volume Median Diameter (VMD)
2- Number Median Diameter (NMD)
3- Resolution

در هر سه تیمار صورت گرفت. برای شمارش شته‌های هر بوته علامت‌گذاری شده، ۳۰ ساقه از هر کرت انتخاب و شته‌های زندهٔ ۱۰ سانتی‌متر انتهایی ساقه شمارش شدند (Keyhanian, Sheikhi Gorjan, Amini, & Khalaf, 2008). برای شمارش شته‌ها از مقیاس صفر تا چهار به صورت صفر: بدون آلودگی، یک: ۱–۵ شته، ۲: ۶–۲۰ شته، ۳: ۲۱–۱۰۰شته، و چهار: بیش از ۱۰۰ شته استفاده شد. برای شمارش دقیق‌تر تعداد زیاد شته (بیش از ۱۰۰عدد شته در ساقه) از روش شمارش تعداد شته در طول یک سانتی‌متر و محاسبهٔ آن در طول ۱۰سانتی‌متر استفاده شد. برای تعیین درصد آلودگی بوته‌ها نیز، از هر کرت تعداد ۱۰بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و تعداد بوته‌های سالم و آلوده شمارش شدند. این کار در هر کرت ۱۰ بار تکرار شد و درصد آلودگی هر کرت به‌دست آمد. برای محاسبهٔ کارایی تیمارها از فرمول هندرسون-تیلتون براساس تعداد شته‌های زنده طبق رابطه (۵) استفاده شد (Keyhanian *et al.*, 2008):

$$E = \left(1 - \frac{(T_a * C_b)}{(T_b * C_a)}\right) * 100 \qquad (۵)$$

E: کارایی سمپاشی (درصد)، $T_a$: تعداد شته‌های زنده در کرت تیمار پس از سمپاشی، $T_b$: تعداد شته‌های زنده در کرت تیمار پیش از سمپاشی، $C_a$: تعداد شته‌های زنده در کرت شاهد پس از سمپاشی، و $C_b$: تعداد شته‌های زنده در کرت شاهد پیش از سمپاشی.

برای مقایسهٔ تعداد شته‌ها در تیمارهای سمپاشی‌شده و شاهد از روش مدل خطی عمومی (GLM)[1] و برای مقایسهٔ کارایی دو تیمار پهپادسمپاش و توربولاینر، آزمون t با استفاده از نرم‌افزار SAS9.2 اجرا شد.

## نتایج و بحث

در جدول۱ مشخصات فنّی پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر ارائه شده‌است. دبی افشانک، دبی کل، میانگین سرعت حرکت، ارتفاع پاشش از سطح زمین و مقدار سم مصرفی، برای این پروژه و بر اساس آزمون‌های عملی به‌دست آمده است. براساس جدول، حجم محلول سم مصرفی پهپادسمپاش و سمپاش توربینی به‌ترتیب برابر با ۱۱/۱ و ۱۸۷/۶لیتر در هکتار به‌دست آمد. در واقع محلول مصرفی سمپاش توربولاینر ۱۷برابر محلول مصرفی پهپادسمپاش است. ظریف‌نشاط (Zarif Neshat, 2021) نیز حجم محلول سم مصرفی پهپادسمپاش و سمپاش توربینی را به‌ترتیب برابر با ۱۱/۱ و ۲۴۹/۱ به‌دست آورد.

### نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر

1- General Linear Model

نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به شرح زیر است:

### ضریب کیفیت پاشش (یکنواختی پاشش)

نتایج ارزیابی یکنواختی پاشش دو نوع سمپاش در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج، میانگین قطر میانهٔ عددی قطره‌های محلول سم برای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب برابر با ۵۴۱/۸ و ۶۸۰/۳میکرومتر، و میانگین قطر میانهٔ حجمی برای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب برابر با ۶۱۸/۱ و ۸۱۴/۰میکرومتر، به‌دست آمد. این نتایج با توجه به بزرگ‌تر بودن قطره‌های محلول در سمپاشی با توربولاینر نسبت به پهپادسمپاش، (به دلیل تفاوت نوع افشانک‌های آن‌ها) به‌دست آمد. براین اساس، میانگین قطرهای میانهٔ عددی و حجمی پهپادسمپاش کمتر از سمپاش توربولاینر بود. همچنین، میانگین ضریب کیفیت پاشش پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب برابر با ۱/۱۵۳ و ۱/۲۱۳به‌دست آمد. بنابراین، پهپادسمپاش در مقایسه با سمپاش توربولاینر کیفیت پاشش بهتر و میانگین قطر میانهٔ حجمی و عددی کمتری دارد که به معنی یکنواختی پاشش بیشتر است. در پژوهش صفری و شیخی‌گرجان (Sheikhi Gorjan, 2018) نیز ضریب کیفیت پاشش پهپادسمپاش ۱/۳۵به‌دست‌آمده که به نتیجهٔ این پژوهش نزدیک است.

### بازدهٔ مزرعه‌ای و انرژی مصرفی

در جدول ۳ ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر پهپادسمپاش و سمپاش توربینی به‌ترتیب برابر با ۵/۰ و ۶/۷هکتار در ساعت به‌دست آمد. شیخی‌گرجان (Sheikhi Garjan, 2018) ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر پهپاد را ۵/۰هکتار در ساعت به‌دست آورد. همچنین، بازدهٔ مزرعه‌ای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب برابر است با ۵۱/۴درصد و ۳۲/۳درصد به‌دست آمد. بنابراین، براساس نتایج، بازدهٔ مزرعه‌ای پهپادسمپاش ۵۹/۱درصد بیش از بازدهٔ مزرعه‌ای سمپاش توربولاینر بود. بازدهٔ مزرعه‌ای بیشتر موجب کاهش زمان سمپاشی شده که این موضوع هنگام محدودیت زمان برای مبارزه با آفت و به‌ویژه در مواقع شیوع آفت بسیار مهم است. زو و همکاران (Zhou *et al.*, 2020) بازدهٔ مزرعه‌ای پهپادسمپاش را ۵۲درصد به‌دست آوردند که به نتیجه پژوهش حاضر بسیار نزدیک است. علت کم بودن بازدهٔ مزرعه‌ای سمپاش توربولاینر، اتلاف زمانی در اثر دور زدن‌ها در انتهای مزرعه و پر کردن مخزن و همچنین، به‌دلیل سرعت کم سمپاشی (به‌خاطر وجود پستی و بلندی‌ها در مزرعه) است. بیشتر بودن بازدهٔ مزرعه‌ای پهپادسمپاش نسبت به سمپاش توربولاینر به‌علت کاهش تلفات زمانی و همچنین، سرعت حرکت بیشتر آن است. تلفات زمانی پهپادسمپاش

نیز به‌دلیل پر کردن مخزن و تعویض باتری است.

براساس جدول ۳، انرژی مصرفی پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب برابر با ۳/۴ و ۱۰۰/۵کیلووات‌ساعت به‌دست آمد. به‌عبارت‌دیگر، انرژی مصرفی سمپاش توربولاینر در هر هکتار، حدود ۳۰برابر انرژی مصرفی پهپادسمپاش است. با توجه به کاهش توان مصرفی در منبع توان الکتریکی نسبت به منبع توان سوخت فسیلی، این نتیجه منطقی است.

**جدول ۱**– مشخصات فنّی سمپاش‌های آزمون‌شده

**Table 1-** Technical specification of the experimental sprayers

| نوع سمپاش **Sprayer** | حجم مخزن پرشده **Filled Tank Capacity (L)** | عرض مؤثر پاشش **Effective spray width (m)** | نوع افشانک **Nozzle type** | فشار **Pressure (Mpa)** | ارتفاع پاشش از سطح زمین **Spray height from the ground (m)** | دبی افشانک **Nozzle Flow (L min⁻¹)** | تعداد افشانک‌ها **Number of Nozzles** | دبی کل **Total Flow (L min⁻¹)** | میانگین سرعت **Average Speed (km h⁻¹)** | حجم محلول مصرفی **Spray volume (L ha⁻¹)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پهپادسمپاش UAV sprayer | 10 | 4.5 | Flat fan | 0.3 | 1.8 | 0.45 | 4 | 1.8 | 21.6 | 11.1 |
| سمپاش توربولاینر Turbo Liner Sprayer | 120 | 28 | Hollow cone | 0-5 | 2.5 | 7.2 | 9 | 64.8 | 7.4 | 187.6 |

**جدول ۲**– میانگین ضریب کیفیت پاشش پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر

**Table 2-** The average spraying quality coefficient of the UAV sprayer and turbo liner sprayer

| نوع سمپاش **Sprayer** | میانگین ضریب کیفیت پاشش **Spraying Quality Coefficient** | انحراف معیار **Standard Deviation** | میانگین قطر میانهٔ عددی **Number Median Diameter (µm)** | انحراف معیار **Standard Deviation** | میانگین قطر میانهٔ حجمی **Volume Median Diameter (µm)** | انحراف معیار **Standard Deviation** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| پهپادسمپاش UAV sprayer | 1.153 | ±0.13 | 541.8 | ±178.5 | 618.1 | ±178.8 |
| سمپاش توربولاینر Turbo Liner Sprayer | 1.213 | ±0.07 | 680.3 | ±280.6 | 814.0 | ±297.1 |

**جدول ۳**– بازدهٔ مزرعه‌ای پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر

**Table 3-** Field efficiency of the UAV sprayer and turbo liner sprayer

| نوع سمپاش **Sprayer** | عرض مؤثر پاشش **Effective spray width (m)** | متوسط سرعت حرکت **Average Speed (km hr⁻¹)** | ظرفیت مزرعه‌ای تئوری **Theatrical Field Capacity (ha hr⁻¹)** | ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر **Effective Field Capacity (ha hr⁻¹)** | بازدهٔ مزرعه‌ای **Field Efficiency (%)** | انرژی مصرفی **Energy consumption (kWh)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| پهپادسمپاش UAV sprayer | 4.5 | 21.6 | 9.7 | 5.0 | 51.4 | 3.4 |
| سمپاش توربولاینر Turbo Liner Sprayer | 28.0 | 7.4 | 20.7 | 6.7 | 32.3 | 100.5 |

**کارایی سمپاشی**

میانگین تعداد شته‌های کلزا قبل و بعد از سمپاشی در جدول ۴ ارائه شده‌است. بنابر نتایج تجزیه واریانس قبل از سمپاشی، میانگین تعداد شته در تیمارهای مختلف تقریباً یکنواخت بود و اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین تیمارها وجود نداشت. اما در سه، هفت و ۱۴ روز پس از سمپاشی بین تیمار شاهد و تیمارهای سمپاشی از نظر تعداد شته اختلاف معنی‌داری وجود داشت؛ به‌طوری‌که تعداد شته در تیمارهای سمپاشی‌شده با پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر در سه بار نمونه‌برداری پس از سمپاشی کمتر از ۱۰۰شته در ساقه بود، اما در تیمار شاهد تعداد ۷۰۰-۲۵۰ شته در ساقه بود. بنابراین، هر دو روش سمپاشی منجر به کاهش جمعیت آفت شدند.

**جدول ٤**- میانگین تعداد شتهٔ کلزا قبل و بعد از سمپاشی

**Table 4-** The average number of pests before and after spraying

| تیمار Treatment | Days before and after spraying | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 day before | 3 days after | 7 days after | 14 days after |
| پهپادسمپاش UAV sprayer | 425.3 | 151.8 | 35.2 | 20.6 |
| سمپاش توربولاینر Turbo Liner Sprayer | 296.1 | 30.7 | 74.5 | 42.9 |
| شاهد Control (Without spraying) | 3013.1 | 463.1 | 776.3 | 256.4 |
| درجهٔ آزادی Degree of Freedom | 2,37 | 2,37 | 2,37 | 2,37 |
| شاخص F F Index | 2.2 | 36.2 | 72.9 | 129.3 |
| مقدار Pr Pr Value | 0.7 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%) | 44.1 | 58.2 | 57.4 | 48.1 |

نتایج آزمون t و مقایسهٔ میانگین‌های درصد کارایی سمپاشی با پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر در جدول۵ ارائه شده‌است. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که در سه روز پس از سمپاشی درصد کارایی سمپاش توربولاینر ۸۷/۳ و درصد کارایی پهپادسمپاش ۶۹/۱ بود. در هفت روز بعد از سمپاشی درصد کارایی سمپاش توربولاینر ۸۸/۴ و درصد کارایی پهپادسمپاش ۷۰/۹ بود. در ۱۴ روز بعد از سمپاشی درصد کارایی پهپادسمپاش ۹۲/۷ و سمپاش توربولاینر ۸۵/۱ بود. براساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها، درصد کارایی سمپاش‌ها در روزهای مختلف بعد از سمپاشی، هر دو سمپاش نتایج قابل قبولی درکنترل جمعیت شتهٔ کلزا داشتند و با گذشت ۱۴ روز از سمپاشی، پهپادسمپاش نسبت به سمپاش توربولاینر کنترل بیشتری روی جمعیت شته ایجاد کرده بود. سیستمیک بودن سم مورداستفاده و نیاز داشتن به زمان برای جذب توسط گیاه از علت‌های دستیابی به چنین نتیجه‌ای است. در پژوهش صفری و شیخی گرجان (Safari & Sheikhi Gorjan, 2018)، هفت روز پس از سمپاشی، کارایی پهپادسمپاش بیش از سمپاش لانس‌دار و به‌ترتیب برابر با ۴۸ و ۴۰درصد به‌دست آمده است.

**جدول ۵**- مقایسهٔ درصد کارایی سمپاشی با پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر برای کنترل جمعیت شتهٔ کلزا

**Table 5-** Comparison of spraying efficacy percentage for controlling the population of *Brevicoryne brassicae* (L.)

| تیمار Treatment | Days after spraying (%) | | |
|---|---|---|---|
| | +3 | +7 | +14 |
| پهپادسمپاش UAV sprayer | 69.1±4.0 | 70.9±3.8 | 92.7±1.3 |
| سمپاش توربولاینر Turbo Liner Sprayer | 87.3±2.3 | 88.4±1.0 | 85.2±3.7 |
| درجهٔ آزادی Degree of Freedom | 29 | 29 | 29 |
| t | 2.8 | 2.9 | 2.5 |
| Pr | 0.008 | 0.007 | 0.02 |

## نتیجه‌گیری

این پروژه با هدف ارزیابی عملکرد پهپادسمپاش برای مبارزه با آفت شتهٔ کلزا اجرا شد. آزمون‌های مزرعه‌ای شامل اندازه‌گیری ضریب کیفیت پاشش، ظرفیت مزرعه‌ای، بازدهٔ مزرعه‌ای، انرژی مصرفی در هکتار و کارایی سمپاشی برای پهپادسمپاش اجرا و نتایج آن با سمپاش توربولاینر مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش عبارت‌است‌از:

– مقدار محلول سم مصرفی پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به‌ترتیب برابر با ۱۱/۱ و ۱۸۷/۶لیتر در هکتار به‌دست آمد. به عبارت دیگر، مقدار محلول مصرفی سمپاش توربولاینر ۱۷برابر بیشتر از پهپادسمپاش است.

– میانگین ضریب کیفیت پاشش پهپادسمپاش و سمپاش توربولاینر به هم نزدیک است. اما یکنواختی پاشش پهپادسمپاش بیشتر است.

– بازدهٔ مزرعه‌ای پهپادسمپاش ۵۹/۱درصد بیش از بازدهٔ مزرعه‌ای سمپاش توربولاینر به‌دست آمد.

– انرژی مصرفی سمپاش توربولاینر در هر هکتار، ۵ برابر انرژی مصرفی پهپادسمپاش بود.

– درصد کارایی سمپاش توربولاینر در سه و هفت روز پس از سمپاشی بیشتر از درصد کارایی سمپاشی با پهپادسمپاش بود. اما، در ۱۴ روز بعد از سمپاشی درصد کارایی پهپادسمپاش بیشتر بود. بنابراین، از نظر کارایی سمپاشی هر دو سمپاش قابل‌توصیه هستند.

– براساس نتایج این پژوهش، برای بهبود عملکرد پهپادسمپاش برای سمپاشی و مبارزه با شتهٔ کلزا ارتفاع پرواز ۱/۵-۱ متر از سر تاج محصول، سرعت پرواز کمتر از ۷ متر در ثانیه و سمپاشی در سرعت باد کمتر از ۴ متر در ثانیه توصیه می‌شود. همچنین، با سمپاشی اصولی مزرعه در مرحلهٔ رزت (به دلیل تراکم و ارتفاع کمتر محصول و تعداد کمتر آفت) می‌توان از شیوع آفت در مرحلهٔ ساقه‌رفتن جلوگیری کرد.

## References


1. Bagheri, N., & Safari, M. (2020). Knowledge of UAV sprayer. Agricultural Engineering Research Institute. Technical Issue.
2. Behrouzi Lar, M. (1999). Engineering Principles of Agricultural Machines (Translated). *Azad Islamic University Press*. 1st Edition, 355-357.
3. Cheema, M. J. M., Mahmood, H. S., Latif, M. A., & Nasir, A. K. (2018). Precision Agriculture and ICT: Future Farming, Chap. 8. In: I.A. Khan and M.S. Khan (eds.), Developing Sustainable Agriculture in Pakistan. *CRC* Press, Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway NW USA.
4. Chen, P., Lan, Y., Huang, X., Qi, H., Wang, G., Wang, J., Wang, L., & Xiao, H. (2020). Droplet Deposition and Control of Planthoppers of Different Nozzles in Two-Stage Rice with a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle. *Agronomy*, *10*(303), 1-14. https://doi.org/10.3390/agronomy10020303
5. Gong, J., Fan, W., & Peng, J. (2019). Application analysis of hydraulic nozzle and rotary atomization sprayer on plant protection UAV. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, *2*(1).
6. Guo, S., Li, J., Yao, W., Zhan, Y., Li, Y., & Shi, Y. (2019). Distribution characteristics on droplet deposition of wind field vortex formed by multi-rotor uav. *PloS One*, *14*(7), e0220024. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220024
7. Huang, Y., Hoffmann, W. C., Lan, Y., Wu, W., & Fritz, B. K. (2009). Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. *Applied Engineering in Agriculture*, *25*(6), 803-809. https://doi.org/10.13031/2013.29229
8. Keyhanian, A. R., Sheikhi Gorjan, A., Amini Khalaf, M. A. (2008). Investigating the effectiveness of several insecticides in controlling cabbage aphid in canola fields. *Agricultural Applied Research*, 163-167.
9. Kharim, M. N. A., Wayayok, A., Sharif, A. R. M., Abdullah, A. F., & Husin, E. M. (2019). Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, *167*, 105045. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105045
10. Lan, Y., & Chen, S. (2018). Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, *1*(1), 1-9. https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20180101.0002
11. Lan, Y. B., Chen, S. D., & Fritz, B. K. (2017). Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *10*(3), 1-17. https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3088
12. Martin, D. E., Woldt, W. E., & Latheef, M. A. (2019). Effect of Application Height and Ground Speed on Spray Pattern and Droplet Spectra from Remotely Piloted Aerial Application Systems. *Drones*, *3*(83), 1-21. https://doi.org/10.3390/drones3040083

13. Meng. Y., Su, J., Song, J., Chen, W. H., & Lan, Y. (2020). Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, *170*, 105282.
14. Nowrouzieh, S. (2020). Evaluation the effectiveness of a sprayer UAV in controlling bollworm. *Cotton Research Institute of Iran.* The final report of the research project**.** No, 60875.
15. Peshin, R., Bandral, R. S., Zhang, W., Wilson, L., & Dhawan, A. K. (2009). *Integrated pest management: A global overview of history, programs and adoption*. In: R. Peshin and A.K. Dhawan (eds.), Integrated Pest Management: Innovation-Development Process. Springer, Dordrecht. Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8992-3_1
16. Qin, W., Xue, X., Zhang, S., Gu, W., & Wang, B. (2018). Droplet deposition and efficiency of fungicides sprayed with small UAV against wheat powdery mildew. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *11*, 27-32.
17. Qin, W., Qiu, B., Xue, X., Chen, C., Xu, Z., & Zhou, Q. (2016). Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. *Crop Protection*, 85, 79-88. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.018
18. Safari, M., & Sheikhi Gorjan, A. (2018). Comparison between unmanned aerial vehicle and tractor lance sprayer against Dubas bug Ommatissus lybicus (Hemiptera: Tropiduchidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *51*(1), 13-26. https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.281898.1006894
19. Safari, M., & Bagheri, N. (2021). Technical parameters for the evaluation of UAV sprayers. *Agricultural Engineering Research Institute.* Technical Issue.
20. Sheikhi Gorjan, A. (2018). Evaluation of UAV sprayer in chemical control of wheat Sunn pest nymphs. The final report of the research project. *Iranian Research Institute of Plant Protection*, No, 55872.
21. Shengde, Ch., Yubin, L., Bradley, K. F., Jiyu, L., Aimin, L., & Yuedong, M. (2017). The effect of wind field under the rotor of multi-rotor UAV on the deposition of aviation spray droplets. *Transactions of the CSAM, 48*(08), 105-113. (In Chinese). https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.011
22. Shilin, W., Jianli, S., Xiongkui, H., Le, S., Xiaonan, W., Changling, W., Zhichong, W., & Yun, L. (2017). Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *10*(4), 22-31.
23. Teske, A. L., Chen, G., Nansen, C., & Kong, Z. (2019). Optimised dispensing of predatory mites by multirotor UAVs in wind: A distribution pattern modelling approach for precision pest management. *Biosystems Engineering*, *187*, 226-238. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.09.009
24. Wang, C., Zeng, A., He, X., Song, J., Herbst, A., & Gao, W. (2020). Spray drift characteristics test of unmanned aerial vehicle spray unit under wind tunnel conditions. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *13*(3), 13-21.
25. Wang, G., Lan, Y., Yuan, H., Qi. H., Chen, P., Ouyang, F., & Han, Y. (2019). Comparison of Spray Deposition, Control Efficacy on Wheat Aphids and Working Efficiency in the Wheat Field of the Unmanned Aerial Vehicle with Boom Sprayer and Two Conventional Knapsack Sprayers. *Applied Sciences*, *9*(218), 1-16. https://doi.org/10.3390/app9020218
26. Xinyu, X., Kang, T., Weicai, Q., Lan, Y., & Zhang, H. (2014). Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field**.** *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *7*(4), 23-28.
27. Yanliang, Z., Qi, L., & Wei, Z. (2017). Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) electrostatic spraying system for crop protection. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 10*, 68-76.
28. Yongjun, Z., Shenghui, Y., Chunjiang, Z., Liping, C., Lan, Y., & Yu, T. (2017). Modeling operation parameters of uav on spray e_ects at different growth stages of corns. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *10*, 57-66.
29. Zarif Neshat, S. (2021). Technical and economic evaluation of sprayer drone for control of wheat weeds to compare with conventional methods. *Agricultural Engineering Research Institute*. The final report of the research project, No, 59903.
30. Zhou, Q., Xue, X., Qin, W., Chen, C., & Cai, C. (2020). Analysis of pesticide use efficiency of a UAV sprayer at different growth stages of rice. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, *3*(1), 38-42. https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200301.64
31. Zhua, H., Salyanib, M., & Fox, R. (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, *76*, 38-43. https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.003